

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-196188

(43)Date of publication of application : 14.07.2000

(51)Int.Cl.

H01S 5/16  
H01L 21/308

(21)Application number : 10-369471

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 25.12.1998

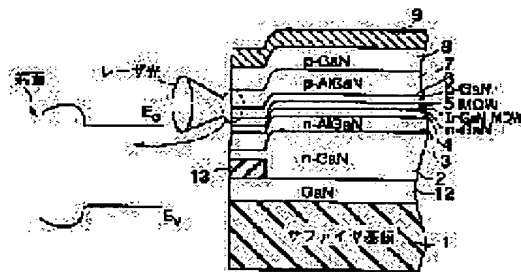
(72)Inventor : JOHN LENEY  
SASANUMA KATSUNOBU

## (54) SEMICONDUCTOR LASER DEVICE AND MANUFACTURE THEREOF

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a semiconductor laser device where laser rays are prevented from being absorbed at the projection edge face of an active layer, by a method wherein a stepped part is provided to the laser projection edge face, and a first semiconductor layer whose band gap is wide is formed above or below the active layer corresponding to the height of the projection edge face to a substrate.

**SOLUTION:** A stepped part is provided to the projection edge face of an active layer 5MQW. Consequently, the stepped part is so provided that the projection edge face of the active layer 5MQW is lower than the other part of the active layer 5MQW to a sapphire substrate 1. Furthermore, originally an optical guide layer 6 wider in band gap than the active layer 5MQW and a clad layer 7 are formed on the projection edge face of the active layer 5MQW. As a result, laser rays amplified in the active layer 5MQW are projected out from the projection edge face of a laser device through the intermediary of the active layer 5MQW, the guide layer 6 wider in band gap than the active layer 5MQW, and the clad layer 7, so that laser rays can be prevented from being absorbing at the projection edge face.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

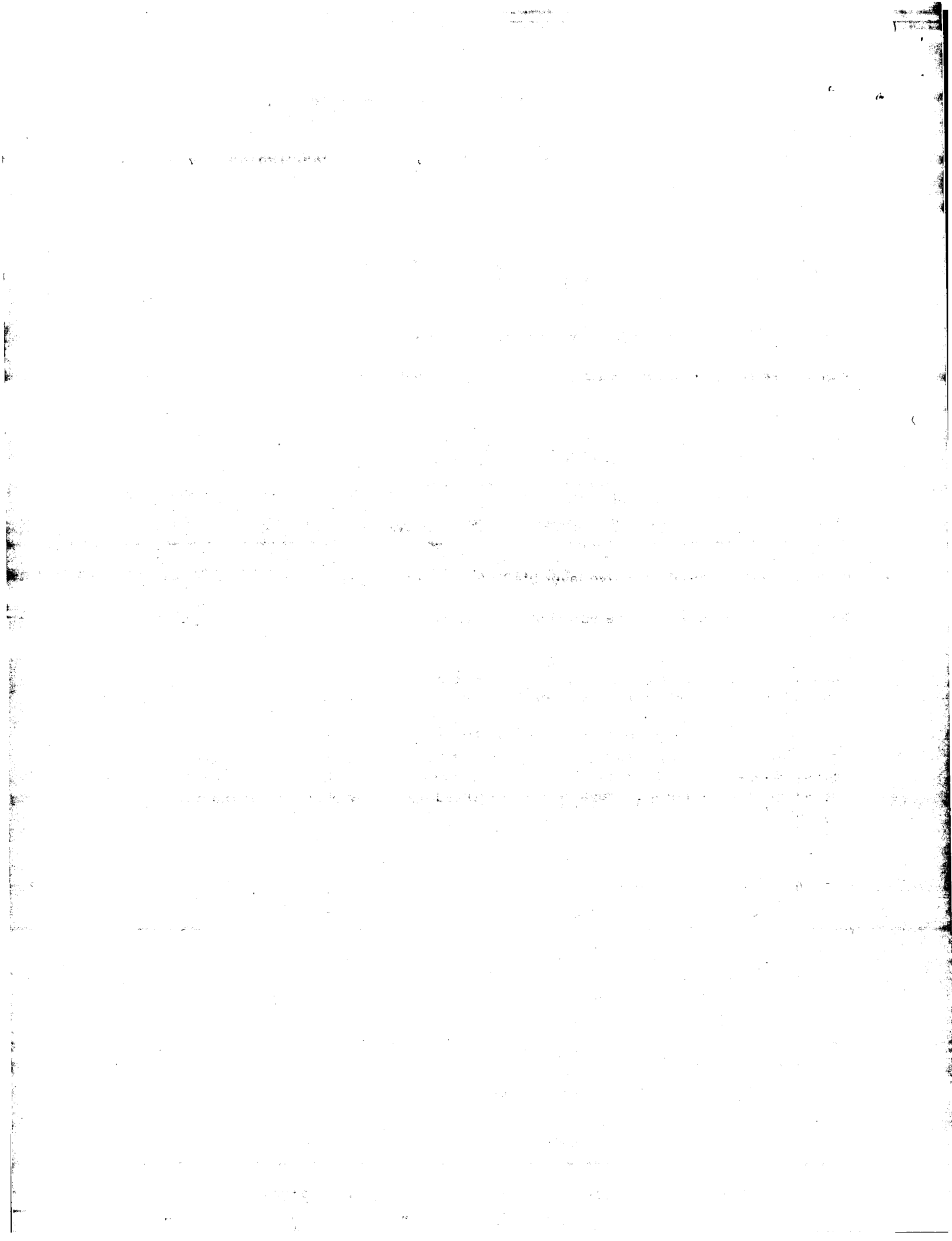
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-196188

(P2000-196188A)

(43) 公開日 平成12年7月14日 (2000.7.14)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード\* (参考)

H 0 1 S 5/16

H 0 1 S 3/18

6 4 8 5 F 0 4 3

H 0 1 L 21/308

H 0 1 L 21/308

C 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号

特願平10-369471

(22) 出願日

平成10年12月25日 (1998. 12. 25)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 ジョン・レニー

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 笹沼 克信

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

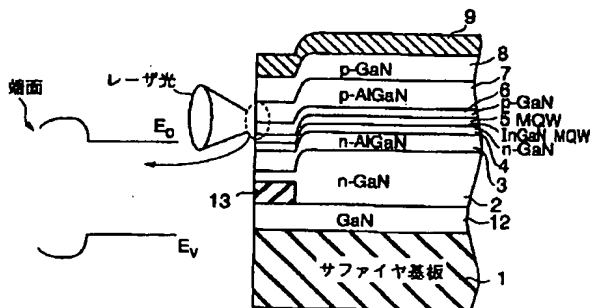
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 寿命の長い窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を実現すること。

【解決手段】 出射端面部が他の部分よりも低い InGa NMQW 活性層 5<sub>NQW</sub> を形成し、このような段差を持った活性層 5 上に p 型 GaN 光ガイド層 6、p 型 AlGa N クラッド層 7 を堆積する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】基板上に窒化ガリウム系化合物半導体からなる活性層を有する半導体レーザ素子において、前記活性層はレーザ光の出射端面において段差を有し、この段差によって前記基板に対する前記出射端面の高さが前記活性層の他の部分のそれよりも低くなっている場合には前記活性層上にそれよりもバンドギャップの広い第 1 半導体層が形成され、前記段差によって前記基板に対する前記出射端面の高さが前記活性層の他の部分のそれよりも高くなっている場合には前記活性層下に前記第 1 半導体層が形成されていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 2】前記基板上に形成され、窒化ガリウム系化合物半導体からなる第 2 半導体層と、この第 2 半導体層上に形成されたストライプ状の絶縁膜と、前記第 2 半導体層上に形成され、窒化ガリウム系化合物半導体からなり、前記絶縁膜が形成された領域の方が前記絶縁膜が形成されていない領域上の方よりも前記基板に対しての高さが低い第 3 半導体層とをさらに備え、前記出射端面が前記絶縁膜上に位置するように前記第 3 半導体層上に形成されることによって、前記出射端面の方が前記活性層の他の部分よりも前記基板に対しての高さが低くなっていることを特徴とする請求項 2 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 3】前記基板上に形成され、窒化ガリウム系化合物半導体からなり、ストライプ状の溝が形成された第 2 半導体層と、この第 2 半導体層上に形成され、窒化ガリウム系化合物半導体からなり、前記溝が形成された領域上の方が前記溝が形成されていない領域上の方よりも前記基板に対しての高さが低い第 3 半導体層とをさらに備え、前記出射端面が前記溝上に位置するように前記第 3 半導体層上に形成されることによって、前記出射端面の方が前記活性層の他の部分よりも前記基板に対しての高さが低くなっていることを特徴とする請求項 2 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 4】前記基板上に形成され、窒化ガリウム系化合物半導体からなり、ストライプ状の凸部が形成された第 2 半導体層と、この第 2 半導体層上に形成され、窒化ガリウム系化合物半導体からなり、前記凸部が形成された領域上の方が前記凸部が形成されていない領域上の方よりも前記基板に対しての高さが高い第 3 半導体層とをさらに備え、前記出射端面が前記凸部上に位置するように前記第 3 半導体層上に形成されることによって、前記出射端面の方が前記活性層の他の部分よりも前記基板に対しての高さが高くなっていることを特徴とする請求項 2 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 5】窒化ガリウム系化合物半導体からなる活性

層を有する半導体レーザ素子において、前記活性層のレーザ光の出射端面には、前記活性層よりもバンドギャップの広い、前記活性層とは別の半導体層が形成されていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 6】前記半導体層は p n 接合を構成し、この p n 接合はレーザ発振させるための印加電圧によって逆バイアスされることを特徴とする請求項 5 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 7】窒化ガリウム系化合物半導体からなる活性層を有する半導体レーザ素子の製造方法において、前記活性層のレーザ光の出射端面を  $H_3PO_4$  液、 $NaOH$  液、 $KOH$  液、 $KH_2PO_4$  液、 $K_3F(CN)_6$  液、 $HF$  液、および  $HNO_3$  と  $HCl$  との混合液の少なくとも一種を用いて表面処理することを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 8】前記表面処理に続いて前記出射端面をコーティングすることを特徴とする請求項 7 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 9】窒化ガリウム系化合物半導体からなる活性層を有する半導体レーザ素子において、前記活性層のレーザ光の出射端面における  $Mg$ 、 $Ca$ 、 $Zn$ 、 $C$ 、 $Cd$ 、 $Be$ 、 $Si$  および  $F$  の少なくとも一種のドーパント濃度は、前記活性層の他の部分におけるそれよりも高いことを特徴とする半導体レーザ素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒化ガリウム系化合物半導体を用いた半導体レーザ素子およびその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、 $Mg$  で  $GaN$  の p 型ドーピングに初めて成功したことから、 $GaN$ 、 $InGaN$ 、 $AlGaN$ 、 $InAlGaN$  などの窒化ガリウム系化合物半導体が青色半導体レーザ素子の材料として注目されている。青色半導体レーザ素子は、光ディスクなど大容量記録媒体の光源として期待されている。

【0003】しかしながら、この種の材料、特に  $GaN$  を用いた場合には、素子の寿命を長くすることが現状では困難で、高出力のものを得ようとすればその寿命はさらに短くなる。

【0004】具体的には、従来の  $GaN$  系化合物半導体レーザ素子は、出力が数ミリワット程度のものでも連続動作を行うとその寿命は 1 万時間程度となり、数十ミリワットの高出力のものでは数千時間程度となる。

【0005】寿命が短い原因としては、レーザ光の出射端面においてレーザ光の一部が吸収されることがあげられる。すなわち、レーザ光を吸収した出射端面は発熱してその温度が上昇し、温度が上昇すると出射端面のバンドギャップの広がり小さくなって、レーザ光の

10

20

30

40

50

吸収が増大するという悪循環が起こる。

【0006】このようなレーザ光の光吸収によって端面の劣化が生じ、劣化が進むと初期的には問題とならなかった光学損傷 (Catastrophic Optical Damage: COD)、酸化による反射面劣化、端面における電流リークによって、連続発振が不可能になる。

【0007】CODは特に高出力の場合に大きな問題となる。このような問題を解決するための手段として、出射端面部にレーザ光が吸収されないような窓構造を導入することが提案されている。窓構造は、活性層の出射端面部のバンドギャップの広がり、活性層の他の部分のそれよりも大きくすることによって実現される。

【0008】しかしながら、AlGaAs等の赤色半導体レーザ素子においてはそれに適した窓構造が提案され、実用化されているが、これまでGaAs系半導体レーザ素子においてはそれに適した窓構造は提案されておらず、窓構造を採用したGaAs系半導体レーザ素子は存在していないのが現状である。

【0009】また、GaAs系化合物半導体においては、出射端面を被覆して出射端面の表面状態を変えることによって、COD耐性を高くすることが考えられている。具体的には、出射端面をDBR (分散ブラッグ反射器) 構造のHR (高反射率) 皮膜やAR (反射防止) 皮膜で被覆することが試みられている (Nakamura et al, Jpn. J. Appl. Phys. 35 2 No. 1B (1996))。

【0010】しかしながら、この種の解決方法では、表面状態の変化は限られているので、COD耐性の水準はほとんど変わらない。

【0011】同様の問題は別の材料、例えば、InGaPやGaAsを用いたレーザ素子でも起きる。この場合、ファセットにドーパントがイオン注入されるので、出射端面の能動領域が乱れて破壊されてしまい、跡には能動領域よりもバンドギャップの大きい材料が残る。

【0012】これによりCOD耐性の水準の差に生じるが、レーザー装置の製造に必要な処理工程が増大し、能動領域の近くに欠陥が発生する危険性が伴う。能動領域の近くに生じる欠陥は、最終的には素子の寿命を縮めてしまう。

【0013】Takahashi et al (Japanese patent 63-287081) は、溝を有する基板の使用を提案している。この基板にレーザー構造を成長させると、実際のレーザーは溝の中に形成されるので、溝の両側面を切り裂くことにより、窓型の構造が形成される。

【0014】この方法はGaAsベースのレーザ用に提案されているが、溝の中に能動領域を成長させることにより、歪みにより転位が生じるなどして、損傷の激しい能動領域が形成され勝ちであると言う欠点がある。また、溝の側面に層を成長させることは至難の業であるから、リーク電流が生じてしまうなどして、素子の機能が損なわれてしまう可能性が高い。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】 上述の如く、従来のGaAs系半導体レーザは、出射端面部におけるレーザ光の吸収を防止するための構造が実現されていなかったの、寿命を長くすることが困難であるという問題があった。

【0016】本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、活性層の出射端面部におけるレーザ光の吸収を防止し、窒化ガリウム系化合物半導体からなる寿命の長い半導体レーザ素子を提供することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段】 [構成] 上記目的を達成するために、本発明 (請求項2) に係る半導体レーザ素子は、基板上に窒化ガリウム系化合物半導体からなる活性層を有する半導体レーザ素子において、前記活性層はレーザ光の出射端面部において段差を有し、この段差によって前記基板に対する前記出射端面部の高さが前記活性層の他の部分のそれよりも低くなっている場合には前記活性層上にそれよりもバンドギャップの広い第1半導体層が形成され、前記段差によって前記基板に対する前記出射端面部の高さが前記活性層の他の部分のそれよりも高くなっている場合には前記活性層下に前記第1半導体層が形成されていることを特徴とする。

【0018】この半導体レーザ素子のより具体的な構成は、前記基板上に形成され、窒化ガリウム系化合物半導体からなる第2半導体層と、この第2半導体層上に形成されたストライプ状の絶縁膜と、前記第2半導体層上に形成され、窒化ガリウム系化合物半導体からなり、前記絶縁膜が形成された領域上の方が前記絶縁膜が形成されていない領域上の方よりも前記基板に対しての高さが低い第3半導体層とをさらに備え、前記出射端面部が前記絶縁膜上に位置するように前記第3半導体層上に形成されることによって、前記出射端面部の方が前記活性層の他の部分よりも前記基板に対しての高さが低くなっていることである。

【0019】また、第2半導体層上にストライプ状の絶縁膜を形成する代わりに、第2半導体層にストライプ状の溝を形成しても良い。あるいは第2半導体層にストライプ状の凸部を形成しても良い。この場合には、活性層のレーザ光の出射端面部の方を活性層の他の部分よりも基板に対しての高さを高くする。

【0020】ストライプ状の絶縁膜の幅、ストライプ状の溝の幅、ストライプ状の凸部の幅は5~50μm、ストライプ状の絶縁膜の膜厚、ストライプ状の溝の深さ、ストライプ状の凸部の高さは0.2~2μmであることが好ましい。また、ストライプ状の絶縁膜は他の層と識別できるように着色されていることが好ましい。そのためには、絶縁膜にCrをドーブすると良い。

【0021】また、本発明 (請求項5) に係る他の半導

体レーザ素子は、窒化ガリウム系化合物半導体からなる活性層を有する半導体レーザ素子において、前記活性層のレーザ光の出射端面部には、前記活性層よりもバンドギャップの広い、前記活性層とは別の半導体層が形成されていることを特徴とする。

【0022】ここで、前記半導体層は p n 接合を構成し、この p n 接合はレーザ発振させるための印加電圧によって逆バイアスされるものであることが好ましい。

【0023】本発明（請求項 7）に係る半導体レーザ素子の製造方法は、前記活性層のレーザ光の出射端面を H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 液、NaOH 液、KOH 液、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 液、K<sub>3</sub>F(CN<sub>6</sub>) 液、HF 液、および HNO<sub>3</sub> と HCl との混合液の少なくとも一種を用いて表面処理することを特徴とする。

【0024】ここで、上記表面処理に続いて出射端面部の表面をコーティングすることがさらに好ましい。また、そのコーティングは AlN 膜、GaN 膜、WN 膜、SiNx 膜等の N を含む膜によって行うと良い。

【0025】また、本発明（請求項 9）に係る他の半導体レーザ素子は、窒化ガリウム系化合物半導体からなる活性層を有する半導体レーザ素子において、前記活性層は Mg、Ca、Zn、C、Cd、Be、Si および F の少なくとも一種のドーパントを含み、かつ前記活性層のレーザ光の出射端面部における前記ドーパントの濃度は、前記活性層の他の部分におけるそれよりも高いことを特徴とする。

【0026】〔作用〕本発明（請求項 1～4）によれば、出射端面部が活性層およびそれよりもバンドギャップの広い第 1 半導体層によって構成されるので、活性層のレーザ光の出射端面部にドーパントをドーピングして窓構造を形成した場合と同様な効果が得られる。

【0027】また、本発明（請求項 5）によれば、活性層のレーザ光の出射端面部には、活性層の他の部分よりもバンドギャップの広い、活性層とは別の半導体層が形成されているので、活性層のレーザ光の出射端面部にドーパントをドーピングして窓構造を形成した場合と同様な効果が得られる。また、上記半導体層として、p n 接合を構成するものを用いれば、リーク電流の増加も抑制できるようになる。

【0028】また、本発明者らの研究によれば、H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 液、NaOH、KOH 液、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 液、K<sub>3</sub>F(CN<sub>6</sub>) 液、HF 液、および HNO<sub>3</sub> と HCl の混合液の少なくとも一種を用いて、窒化ガリウム系化合物半導体からなる活性層の表面を処理すれば、レーザ素子に悪影響を与えることなく、活性層の表面から酸素や炭素などの不純物を除去をでき、表面の欠陥の原因となるダングリングボンドを無効にできることが分かった。

【0029】表面の欠陥を低減できれば、出射端面部におけるバンドギャップの広がりやの縮小を抑制でき、活性層のレーザ光の出射端面部における光吸収を防止するこ

とができ、寿命を長くできる。

【0030】したがって、本発明（請求項 7、8）の如きの溶剤を用いて活性層のレーザ光の出射端面部を表面処理すれば、活性層のレーザ光の出射端面部における光吸収を防止することができ、もって実用に供することのできる長寿命の青色半導体レーザを実現できるようになる。

【0031】本発明者らの研究によれば、Mg、Ca、Zn、C、Cd、Be、Si および F の少なくとも一種のドーパントを窒化ガリウム系化合物半導体層にドーピングすると、その部分のバンドギャップはドーパントをドーピングしない部分に比べてバンドギャップが広がることが明らかになった。

【0032】したがって、本発明（請求項 1）のように、窒化ガリウム系化合物半導体からなる活性層のレーザ光の出射端面部に上記ドーパントをドーピングすれば、窓構造を形成することができ、出射端面部におけるレーザ光の吸収を防止することができ、もって実用に供することのできる長寿命の青色半導体レーザを実現できるようになる。

【0033】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態（以下、実施形態という）を説明する。

（第 1 の実施形態：請求項 9）図 1 は、本発明の第 1 の実施形態に係る SCH 構造の GaN 系化合物半導体レーザ素子を示す断面図である。

【0034】図中、1 はサファイア基板を示しており、このサファイア基板 1 上には n 型 GaN バッファ層 2、n 型 AlGaIn クラッド層 3、n 型 GaN 光ガイド層 4、i 型 InGaIn 活性層 5、p 型 GaN 光ガイド層 6、p 型 AlGaIn クラッド層 7、p<sup>+</sup> 型 GaN コンタクト層 8 が順次形成されている。p<sup>+</sup> 型 GaN コンタクト層 8 には p 側電極 9 が設けられている。そして、n 型 GaN バッファ層 2 には図示しない n 側電極が設けられている。より詳細には、n 側電極は紙面に対して垂直方向にのびた n 型 GaN バッファ層 2 の表面に形成された窪み内に設けられている。

【0035】上述した各層 3～8 は有機金属気相成長法（MOCVD 法）によって形成し、Ga 原料としてはトリメチルガリウム（TMG）、In 原料としてはトリメチルインジウム（TMI）、Al 原料としてはトリメチルアルミニウム（TMA）、N 原料としてアンモニア（NH<sub>3</sub>）、Mg（アクセプタ）原料としてはビスシクロペンタジエニルマグネシウム（Cp<sub>2</sub>Mg）、Si（ドナー）原料としてシラン（SiH<sub>4</sub>）、またキャリアガスとして水素と窒素を用いる。

【0036】また、これらの各層 2～8 の端面部には Mg が過剰にドーピングされ、この Mg のドーピングによって活性層 5 中に光ガイド層 4、6 の構成元素が拡散し、この拡散によって活性層 5 と光ガイド層 4、6 との間のそれぞ

れの界面が消滅し、活性層 5 の出射端部は他の部分に比べてバンドギャップが広がって窓構造 10 が形成されている。また、Mg はアクセプタとして働くので、Mg がドーピングされた各層 2~8 の端面部（窓構造 10）は、Mg がドーピングされていない部分に比べてより p 型導電型に傾く。

【0037】ここでは、Mg のドーピングによって窓構造 10 を形成したが、本発明者らの研究によれば、Mg 以外にも Ca、Zn、C、Cd、Be、Si および F の一種、または Mg、Ca、Zn、C、Cd、Be、Si および F の少なくとも 2 種のドーパントを GaN 系化合物半導体層にドーピングすることによっても、活性層のバンドギャップを広げることができ、窓構造を形成できることが分かった。

【0038】本実施形態によれば、窓構造 10 によって出射端面におけるレーザ光の吸収を効果的に防止できるようになり、その結果として COD、酸化による反射面劣化、端面における電流リークの発生を十分に防止でき、連続発振が可能になる。具体的には、50℃の高温、30~40mW の高出力のものであっても、1 万時間以上の連続発振が可能となる。

【0039】次に窓構造 10 の形成方法について述べる。p<sup>+</sup> 型 GaN コンタクト層 8 までを形成した後、p<sup>+</sup> 型 GaN コンタクト層 8 上に Mg を高ドーピングしたい領域に開口部を有するマスクを形成し、次に例えば Cp<sub>2</sub>Mg を用いて 800℃以上の炉中にて Mg を気相拡散させてドーピングを行う。ここで、Mg のドーピング量は  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  以上とするのが望ましい。

【0040】次にマスクを除去した後、Mg を高ドーピングした領域において劈開等により出射端面を形成することによって、窓構造 10 が完成する。ここでは、Mg のドーピングを気相拡散によって行ったが、端面に Mg を接触させることで固相拡散によって行うことも可能である。

【0041】なお、本実施形態では、光ガイド層の材料に GaN を用いたが、InAlGa<sub>x</sub>N 系化合物半導体であっても活性層よりもバンドギャップが広いものであれば、同様の効果が得られる。

【0042】また、本実施形態では、窓構造 10 を形成するために、p 型ドーパントである Mg をドーピングしたが、Mg 以外にも前述したように Ca、Zn、C、Be 等の p 型ドーパント、Si、Se、Sn 等の n 型ドーパントをドーピングしても良い。

【0043】これらの結果をまとめると、活性層を構成する部分のうちの出射端面部の導電型と、活性層のその他の部分の導電型の組合せとしては、本実施形態に示したような (p<sup>+</sup>、i) の他に、(p<sup>+</sup>、p)、(p<sup>+</sup>、n)、(n<sup>+</sup>、n)、(n<sup>+</sup>、i)、(n<sup>+</sup>、p) 等が可能である。

【0044】ここで、p<sup>+</sup> および n<sup>+</sup> はキャリア濃度が

$1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  以上。p および n はキャリア濃度が  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以上であり、i はキャリア濃度が  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  未満のキャリア密度を示している。

【0045】また、本実施形態では、GaN 系半導体を成長させるための基板としてサファイア基板を用いたが、GaN 基板、Si 基板、SiC 基板、MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 基板などの他の基板を用いることも可能である。

（第 2 の実施形態：請求項 9）図 2 は、本発明の第 2 の実施形態に係る SCH 構造の GaN 系化合物半導体レーザ素子を示す断面図である。なお、図 1 と対応する部分には図 1 と同一符号を付してあり、詳細な説明は省略する。また、以下の図において、前出した図と同一符号は同一符号または相当部分を示す。

【0046】本実施形態が第 1 の実施形態と主として異なる点は、i 型 InGa<sub>x</sub>N 活性層 5 の代わりに、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N 井戸層と GaN バリア層とからなる多重量子井戸 (MQW) 構造の活性層 5<sub>MQW</sub> を用いたことにある。また、本実施形態ではサファイア基板 1 の代わりに GaN 基板 1' を用いている。この場合、GaN 基板 1' に n 側電極（不図示）が設けられる。

【0047】第 1 の実施形態と同様に、窓構造 1 となる部分には Mg が過剰にドーピングされ、そのドーピング量は  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  以上とするのが望ましい。

【0048】出射端面部では Mg が過剰にドーピングされ、井戸層の構成元素と障壁層の構成元素とが混在され、出射端面部では相互拡散によって井戸層と障壁層との間の境界が消失する。

【0049】この様子を図 3 に示す。これは TEM による顕微鏡写真撮影を行った結果を模式的に示した図である。図に示すように、出射端面部では井戸層 5<sub>W</sub> と障壁層 5<sub>B</sub> との間の境界がはっきりとしなくなり、出射端面部には In<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N 層 5' が形成される。その結果、出射端面部の井戸層 (InGa<sub>x</sub>N 層) のバンドギャップが他の部分に比べて広がって、出射端面部で窓構造 10 が形成される。

【0050】なお、p 側電極 9 からの電流のリークを防止するためには、図 4 に示すように、窓構造 10 上に SiO<sub>2</sub> 膜等の絶縁膜 11 を形成し、p 側電極 9 が窓構造 10 と接触しない構造にすると良い。この効果は、光ガイド層が InAlGa<sub>x</sub>N で形成されている場合でも得られる。また、第 1 の実施形態で述べた SCH 構造のレーザ素子に適用しても同様の効果が得られる。

【0051】また、第 1 および第 2 の実施形態では、SCH 構造のレーザ素子について説明したが、光ガイド層が無く、クラッド層が活性層に直接接した DH 構造であっても同様の効果が得られる。

（第 3 の実施形態：請求項 1~4）図 5 は、本発明の第 3 の実施形態に係る SCH 構造の GaN 系化合物半導体レーザ素子を示す断面図である。図には簡単のために素子の左側だけを示し、また活性層のバンド図も同時に示

してある。

【0052】本実施形態では、Mg等のドーパントを出射端面部にドーピングすることなく、出射端面部におけるレーザ光の吸収を防止できるGaN系化合物半導体レーザ素子について説明する。

【0053】本実施形態では、活性層5<sub>MQW</sub>の出射端面部で段差ができていいる。具体的には、サファイア基板1に対する活性層5<sub>MQW</sub>の出射端面部が活性層5<sub>MQW</sub>の他の部分よりも低いという段差ができていいる。さらに、本来は活性層5<sub>MQW</sub>の出射端面部となる部分には活性層5<sub>MQW</sub>よりもバンドギャップの広い光ガイド層6、クラッド層7が形成されている。

【0054】その結果、活性層5<sub>MQW</sub>中で増幅されたレーザ光は、出射端面部で活性層5<sub>MQW</sub>およびそれよりもバンドギャップの広い光ガイド層6、クラッド層7を介して出射することになるで、出射端面部におけるレーザ光の吸収を防止でき、第1の実施形態と同様な効果が得られる。

【0055】具体的には、図6に示す従来のリッジ構造のレーザ素子の場合には、図7に示すように寿命はほぼ40時間で、この時間を過ぎると、動作電流I<sub>op</sub>が突然に増大して、素子が完全に故障してしまう。このような振る舞いは、破局損傷故障型(COD)の経時変化として一般的である。これに対し、本素子の場合には、図8に示すように寿命を10000時間以上にまで延ばすことが可能になる。なお、これらの測定は自動電力制御状態で行ったものである。また、図6において、14はn側電極、15は絶縁膜を示している。

【0056】本実施形態のGaN系化合物半導体レーザ素子を製造するには、図9に示すように、サファイア基板1上にGaN層12を形成した後、n型GaNバッファ層2上にSiO<sub>2</sub>からなるストライプ状の絶縁膜13を形成すれば良い。ここで、絶縁膜13の材料としては、SiO<sub>2</sub>の他にMgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、CuO、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等の他の絶縁材料を用いても良い。

【0057】次に通常通りにn型AlGaNクラッド層3を全面に成長させる。このとき、絶縁膜13上ではGaN層12上に比べてAlGaNの成長速度が非常に遅いので、n型AlGaNクラッド層3はGaN層12上で先に成長し、n型AlGaNクラッド層3が絶縁膜13上になだれ込んで絶縁膜13を覆うことになる。

【0058】その結果、絶縁膜13上に成長したn型AlGaNクラッド層3の表面は、GaN層12上に成長したn型AlGaNクラッド層3の表面よりも低くなる。以後、同様に各層を成長させることで図5に示した層構造が得られる。

【0059】ここで、絶縁膜13の幅は、5~50μmの範囲であることが好ましい。幅が5μmよりも狭いと、横方向の成長が余りにも速くなってしまつて、段差が形成されず、ウェハ全体が平らになってしまう可能性

がある。また、幅が50μmより広いと、絶縁膜13の中央部が覆われなくなって、レーザ性能が悪くなつてしま可能性もある。

【0060】また、成長温度は、1100℃程度のオーダーにすべきである。温度が低すぎると成長速度が遅くなつてしまう。各層を速く成長させなければ、絶縁膜13からGaN層12に至る領域に段差を形成することができなくなる。速い成長速度を維持するには、GaやNのガスを流す速度を速くすると良い。

【0061】また、絶縁膜13の膜厚は、0.2μm~2μmの範囲であることが好ましい。膜厚が0.2μmよりも薄いと、絶縁膜13の均一性に起因する問題が顕著になる可能性がある。また、膜厚が2μmよりも大きいと、絶縁膜13の中央部が覆われなくなって、レーザ性能が悪くなる可能性がある。あるいは層が成長すぎた領域、例えば絶縁膜13の側面下部に多くの欠陥や転位が生じる可能性がある。このような欠陥や転位は、それ自体が装置の寿命を縮める原因であり、窓構造の効果を無に帰してしまふことになる。

【0062】また、絶縁膜13にCr等のドーパント材料を添加すると、絶縁膜13に着色することができるので、装置に亀裂が入った場合、着色した線条絶縁膜13が亀裂から覗いて見えるので、亀裂の発見が容易になる。

【0063】なお、本実施形態では、最初にn型GaN層を成長させる場合について説明したが、図10に示すように最初にアンドープのGaN層16を成長させることによって段差構造を形成することができ、この場合も本実施形態と同様な効果が得られる。

【0064】このような窓構造と同様な効果が得られる段差構造は、絶縁膜13を用いなくても実現することができる。その具体例を図11~図16に示す。

【0065】図11の素子は、図12に示すようにGaN層12をエッチングしてサファイア基板1に達するストライプ状の溝を形成し、その後各層を成長させて得られたものである。

【0066】図13の素子は、図14に示すようにGaN層12を途中までエッチングしてストライプ状の溝を形成し、その後各層を成長させて得られたものである。

【0067】これらの図11および図13のレーザ素子において、絶縁膜13の厚さに相当するものは溝の深さであり、したがって溝の深さは、0.2~2μmの範囲であることが好ましい。

【0068】図15の素子は、図16に示すようにGaN層12をエッチングしてその表面にストライプ状の凸部を形成し、その後各層を成長させて得られたものである。

【0069】また、図21にストライプ状の絶縁膜13を用いて製造した図5と同様な素子を示す。これは図5の素子と同様にストライプ状の絶縁膜13を形成し、そ



の後各層を成長させ、さらに絶縁膜 19 を形成して得られたものである。この素子は光閉じ込め構造を有し、単一の成長ステージでもって成長形成できる。出射端面は劈開またはドライエッチングによって絶縁膜 13 上の領域に形成される。

【0070】また、本素子においては、絶縁膜 13 が【0071】

【数 1】

### <11 $\bar{2}$ 0>方向

【0072】に沿って形成されていることが最も望ましい。各層は他の方向に沿って成長し、最終的には各層が絶縁膜 13 上になだれ込んで、図 5 と同様な段差構造が得られる。

(第 4 の実施形態：請求項 6, 7) 次に本発明の第 4 の実施形態に係る GaN 系化合物半導体レーザ素子の製造方法について説明する。

【0073】まず、周知の方法に従って GaN 系化合物半導体レーザ素子を構成する各層を順次形成し、次に劈開またはドライエッチングにより出射端面を形成する。ここまでは従来方法と同じである。ここで、素子構造は SCH 構造、DH 構造または他の構造であっても良い。すなわち、素子構造は特に限定されず、第 1 や第 2 の実施形態で説明した本発明に係る構造でも従来構造でも良い。

【0074】ここで、劈開およびドライエッチングのいずれの技術で出射端面を形成しても、出射端面の表面は炭素や酸素等の様々な不純物で汚染されるだけでなく、その表面には大量の欠陥が生じてしまう。

【0075】これらの汚染や欠陥により生じる悪影響を防止するために、従来より、出射端面の表面を溶剤 (solvent) により処理していた。この処理によって出射端面の表面でのバンドギャップの湾曲をかなり減少させることができ、その結果として COD および反射係数や吸収係数等の利得パラメータが改善される。

【0076】しかしながら、レーザ素子に用いる GaN 系化合物半導体層には高品質の結晶性が求されているのに、従来の処理方法では溶剤自体が不純物として残ってしまうという問題があった。また、通常の溶剤、例えば、硫黄を用いて他の III-V 化合物半導体層を処理した場合には、多少の影響あるいは悪影響をレーザ素子に与えることが判明した。

【0077】様々な実験をした結果、GaN 系化合物半導体層の処理には、KOH や NaOH 等のアルカリ溶剤を含む溶液が有効であることが判明した。すなわち、この種の溶剤を用いた場合には K や Na 等が表面に残留するが、これらの残留物はレーザ素子に有害な作用を及ぼさないことが分かった。

【0078】この他に使用できる溶剤としては、 $H_3PO_4$ 、 $HF$ 、 $(H_3PO_4) / (HNO_3)$ 、 $(CH_3COOH) / (H_2O)$ 、 $(HNO_3) / (HCl)$ 、

$(H_2O)$ 、 $KH_2PO_4 / KOH / K_3Fe(CN)_6 / H_2O$  等をあげることができる。

【0079】これらの様々な溶剤の最終的な効果は、酸素や炭素などの不純物を表面から除去することによって、表面の欠陥の原因となるダングリングボンドを無効にすることである。

【0080】溶剤処理によって出射端面の表面は清浄になるが、その表面は周囲の環境により直ぐに劣化してしまうので、洗浄な出射端面の表面を直ちにコーティングする必要がある。

【0081】ここで、GaN 系化合物半導体層は酸化されやすいので、通常用いられている酸化物系の高反射膜や反射防止膜では出射端面の表面をコーティングすることはできない。また、素子内部からレーザ光を効率的に出力させるためには、素子の平均的屈折率に近い屈折率の領域を設ける必要である。

【0082】本発明者らの研究によれば、これらの目的に最も適したコーティング膜は、GaN、AlN、SiNx、BN などの窒化化合物系からなる単結晶膜または多結晶膜であることが判明した。

【0083】以上述べた方法によって出射端面の表面を処理 (洗浄、コーティング) を行うと、図 17 に示すように、上記処理を行わない場合に比べて寿命を格段に延ばすことができる。図 17 の測定に用いたレーザ素子は図 16 に示した構造のものである。本実施形態の出射端面の処理方法は第 1 ～ 第 3 の実施形態あるいは次に説明する第 5 の実施形態のレーザ素子にも適用できる。

(第 5 の実施形態：請求項 5, 6) 図 18 は、本発明の第 5 の実施形態に係る BH 構造の GaN 系化合物半導体レーザ素子を示す断面図である。

【0084】本実施形態の特徴は、出射端面部に窓構造として p 型 GaN 層 17 と n 型 GaN 層 18 とからなる pn 接合が形成されていることにある。この pn 接合は活性層 5nm よりもバンドギャップの広い材料である GaN で形成されているので、第 1 の実施形態と同様の効果が得られる。

【0085】さらに p 型 GaN 層 17 が n 側電極側、n 型 GaN 層 18 が p 側電極 9 側に形成されていることから、レーザ発振させるための印加電圧によって pn 接合は逆バイアス電圧が印加されることになるので、リーク電流の低減化を図れるという効果も得られる。

【0086】このような構成のレーザ素子を製造するためには、サファイア基板 1 上に n 型 GaN 層 12 から p 型 AlGaIn クラッド層 7 までを形成した後、図 19 に示すように p 型 AlGaIn クラッド層 7 から n 型 GaN バッファ層 2、さらには GaN 層 12 の途中までをエッチングして、複数の直方体構造を形成すれば良い。これらの直方体構造はそれぞれ最終的には個々のレーザ素子のレーザキャビティとなる。

【0087】この後、露出した n 型 GaN 層 12 上に p

型GaN層17、n型GaN層18をp型AlGaNクラッド層7の高さまで順次成長させ、p型コンタクト層8を成長させ、劈開またはドライエッチングによって出射端面を形成し、各p側およびn側電極を形成して図18に示したレーザ素子が完成する。

【0088】この方法の場合には、p型AlGaNクラッド層7からn型GaN層12の途中までのエッチングされた領域の面に沿って電流漏洩路が形成されやすい。しかしながら、本発明者らの研究によれば、このような不都合は、出射端面のファセットを

【0089】

【数2】

$\langle 1\bar{1}00 \rangle$  方向または  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$  方向

【0090】に沿って形成することにより解消でき、これにより図20に示すように、寿命を大幅に改善できるようになる。

【0091】なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、各層の成膜方法および原料、レーザ構造等は適宜変更して実施できる。また、レーザ素子の駆動系統は従来と同様のものを用いれば良い。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施できる。

【0092】

【発明の効果】以上詳説したように本発明（請求項1～4）によれば、出射端面部が活性層およびそれよりもバンドギャップの広い第2半導体層によって構成されるので、活性層のレーザ光の出射端面部にドーパントをドーブして窓構造を形成した場合と同様な効果が得られる。

【0093】また、本発明（請求項5）によれば、活性層のレーザ光の出射端面部には、活性層の他の部分よりもバンドギャップの高い、活性層とは別の半導体層が形成されているので、活性層のレーザ光の出射端面部にドーパントをドーブして窓構造を形成した場合と同様な効果が得られる。

【0094】また、本発明（請求項7、8）によれば、所定溶液を用いて活性層のレーザ光の出射端面部を表面処理すれば、レーザ素子に悪影響を与えることなく活性層の出射端面部における光吸収を防止することができ、もって実用に供することのできる長寿命の青色半導体レーザを実現できるようになる。

【0095】また、本発明（請求項9）のように、窒化ガリウム系化合物半導体からなる活性層のレーザ光の出射端面部に所定のドーパントをドーブすることによって、窓構造を形成することができるので、活性層の出射端面部における光吸収を防止することができ、もって実用に供することのできる長寿命の青色半導体レーザを実現できるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係るSCH構造のG

aN系化合物半導体レーザ素子を示す断面図

【図2】発明の第2の実施形態に係るSCH構造のGaN系化合物半導体レーザ素子を示す断面図

【図3】Mgを過剰にドーブした出射端面部をTEMによる顕微鏡写真撮影を行った結果を模式的に示す図

【図4】p側電極からの電流のリークを防止するために、窓構造上に絶縁膜が形成されたレーザ素子を示す断面図

【図5】本発明の第3の実施形態に係るSCH構造のGaN系化合物半導体レーザ素子を示す断面図

【図6】従来のリッジ構造のGaN系化合物半導体レーザ素子を示す断面図

【図7】図6の従来のGaN系化合物半導体レーザ素子の寿命を示す図

【図8】図5の第3の実施形態のGaN系化合物半導体レーザ素子の寿命を示す図

【図9】図5の第3の実施形態のGaN系化合物半導体レーザ素子の製造方法を説明するための斜視図

【図10】図5の第3の実施形態のGaN系化合物半導体レーザ素子の変形例を示す断面図

【図11】図5の第3の実施形態のGaN系化合物半導体レーザ素子の他の変形例を示す断面図

【図12】図11のGaN系化合物半導体レーザ素子の製造方法を説明するための斜視図

【図13】図5の第3の実施形態のGaN系化合物半導体レーザ素子のさらに別の変形例を示す断面図

【図14】図13のGaN系化合物半導体レーザ素子の製造方法を説明するための斜視図

【図15】図5の第3の実施形態のGaN系化合物半導体レーザ素子のさらにまた別の変形例を示す断面図

【図16】図15のGaN系化合物半導体レーザ素子の製造方法を説明するための斜視図

【図17】本発明の第4の実施形態に係る表面処理を行ったGaN系化合物半導体レーザ素子の寿命を示す図

【図18】本発明の第5の実施形態に係るBH構造のGaN系化合物半導体レーザ素子を示す断面図

【図19】図18のGaN系化合物半導体レーザ素子の製造方法を説明するための斜視図

【図20】図18のGaN系化合物半導体レーザ素子の寿命を示す図

【図21】図5の第3の実施形態のGaN系化合物半導体レーザ素子の変形例を示す断面図

【符号の説明】

1…サファイア基板

2…n型GaNバッファ層（第3半導体層）

3…n型AlGaNクラッド層（第3半導体層）

4…n型GaN光ガイド層（第3半導体層）

5…i型InGaN活性層

5<sub>MQW</sub>…MQW活性層

6…p型GaN光ガイド層（第1半導体層）

10

20

30

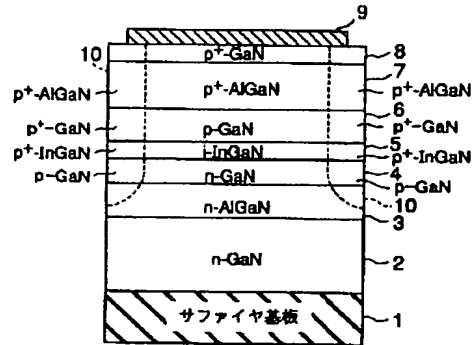
40

50

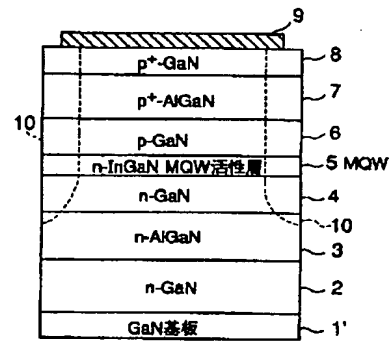
- 7…p型AlGaInクラッド層（第1半導体層）  
 8…p<sup>+</sup>型GaInコンタクト層  
 9…p側電極  
 10…窓構造  
 11…絶縁膜  
 12…GaIn層（第2半導体層）

- 13…絶縁膜  
 14…n側電極  
 15…絶縁膜  
 16…GaIn層  
 17…p型GaIn層  
 18…n型GaIn層

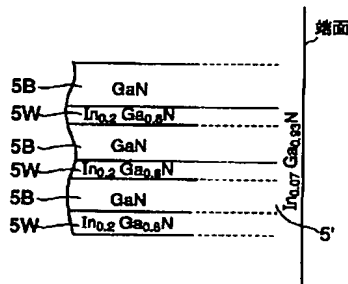
【図1】



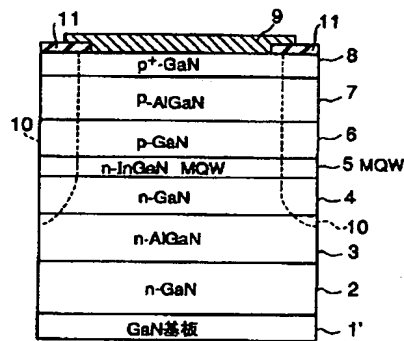
【図2】



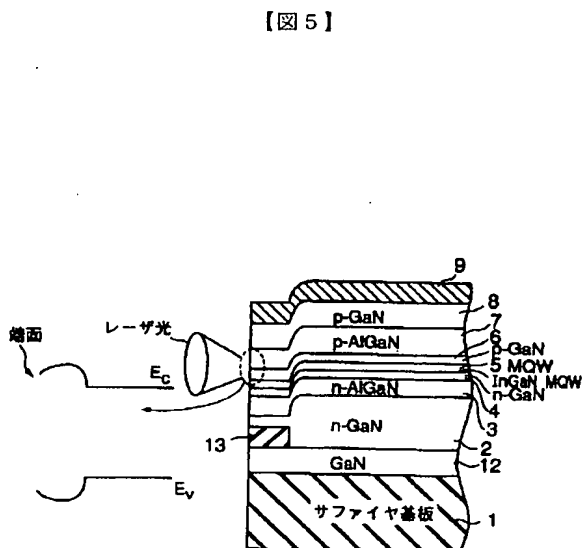
【図3】



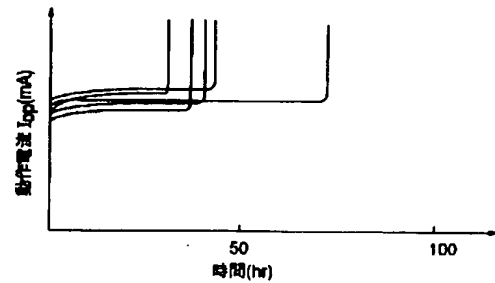
【図4】



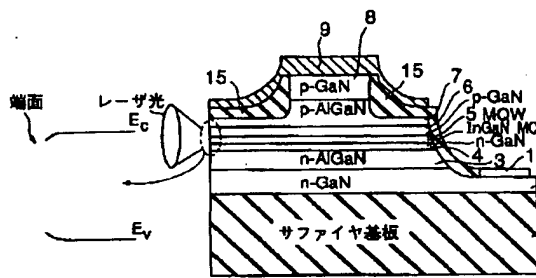
【図5】



【図7】

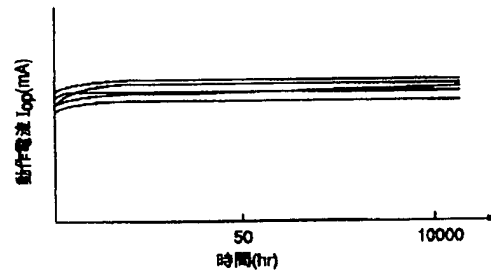


【図6】

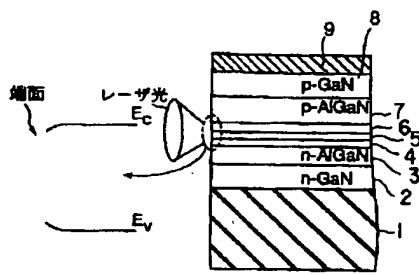


(a)

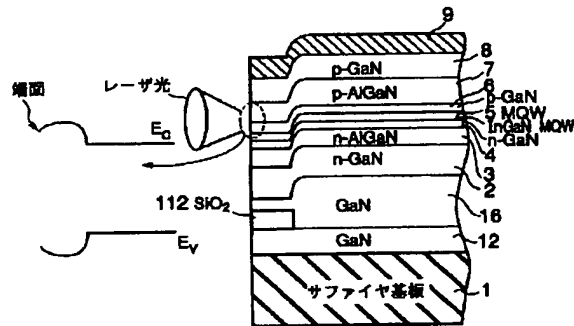
【図8】



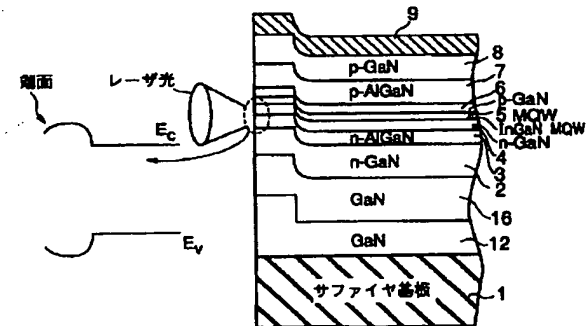
【図10】



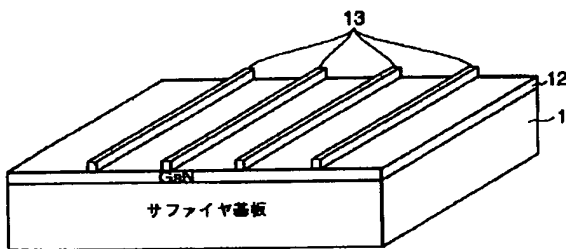
(b)



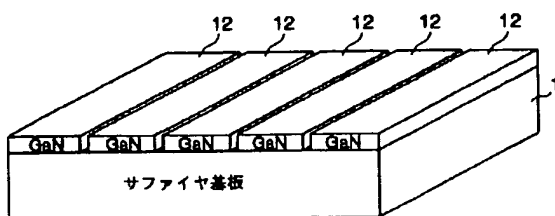
【図11】



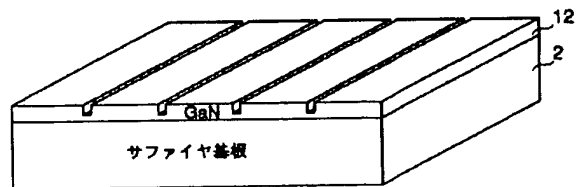
【図9】



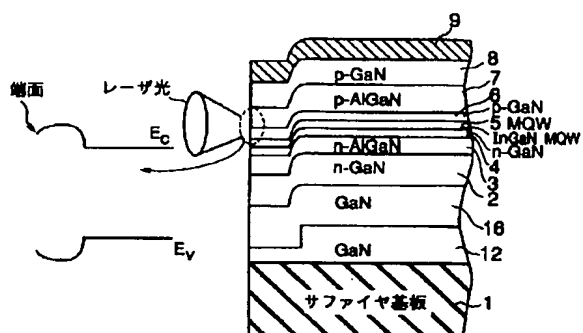
【図12】



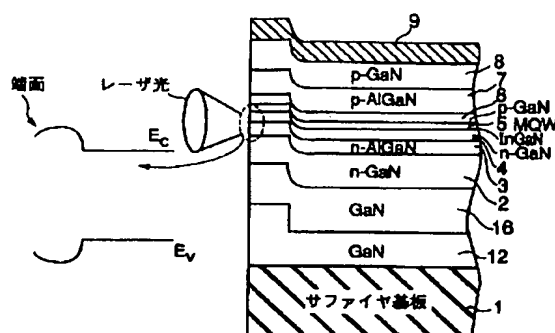
【図14】



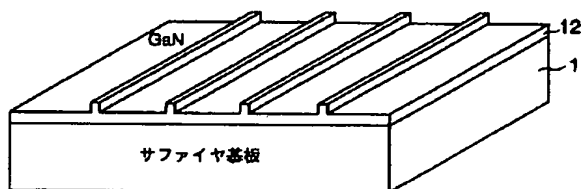
【図 13】



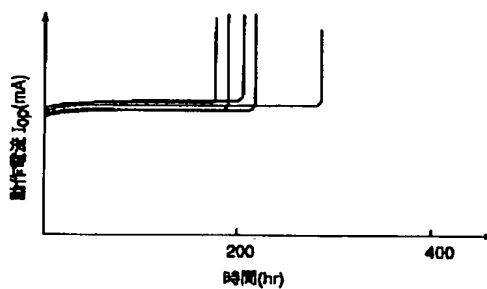
【図 15】



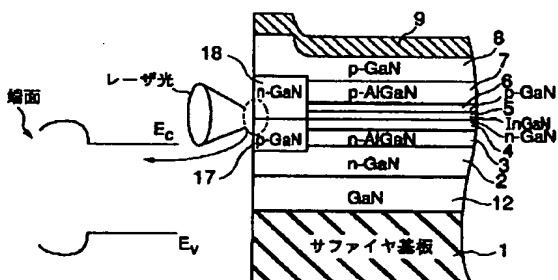
【図 16】



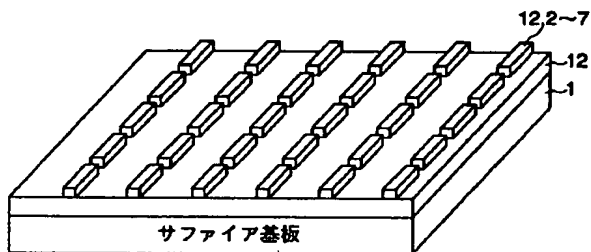
【図 17】



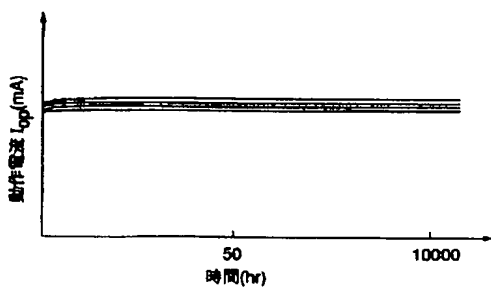
【図 18】



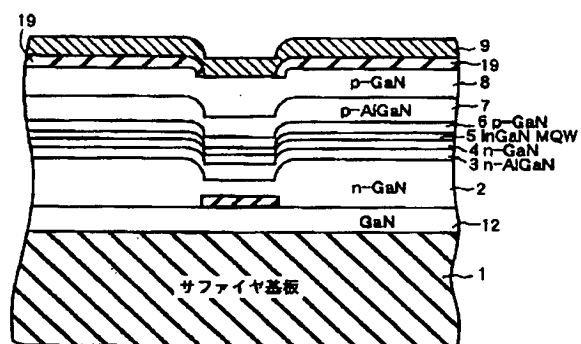
【図 19】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F043 AA16 BB10 FF05 GG10  
5F073 AA13 AA46 AA74 AA85 AA86  
CA07 CB05 CB19 DA05 DA12  
EA28